广西姑婆山及邻近地区大型真菌物种多样性

张艳成[1,2]，张强[1,2]，牟光福[2]，刘演[2]，赵博[1*]
(1．桂林医学院 药学院生药学教研室，广西桂林 541199；2．广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所，广西 桂林 541006)

摘要：姑婆山紧邻南岭生物多样性保护优先区，孕育了丰富的生物资源。为了解该区大型真菌物种多样性，采用随机踏查法对广西姑婆山自治区级自然保护区(以下简称姑婆山)及邻近地区大型真菌资源进行调查采集，结合形态学和分子生物学方法进行物种鉴定。结果表明：(1)该区共发现 348 种大型真菌，隶属于 2 门 6 纲 17 目 69 科 175 属，其中包含食用菌 40 种、药用菌 42 种、毒菌 7 种。(2)对该区域的物种组成分析表明，优势科为蘑菇科(Agaricaceae)、牛肝菌科(Boletaceae)、粉褶蕈科(Entolomataceae)和锈革菌科(Hymenochaetaceae)等 9 科；优势属为鹅膏属(*Amanita*)、靴耳属(*Crepidotus*)、毛皮伞属(*Crinipellis*)和粉褶蕈属(*Entoloma*)等 11 属。(3)共发现 2 个中国特有属，即脆孔菌属(*Fragiliporia*)和臧氏牛肝菌属(*Zangia*)；11 个中国特有种，即厚集毛菌(*Coltricia crassa*)、魏氏集毛菌(*Coltricia weii*)、丛生粉褶蕈(*Entoloma caespitosum*)、极细粉褶蕈(*Entoloma praegracile*)、近薄囊粉褶蕈(*Entoloma subtenuicystidiatum*)、薄管层卧孔菌(*Fomitiporia tenuitubus*)、香榧嗜蓝孢孔菌(*Fomitiporia torreyae*)、脆孔菌(*Fragiliporia fragilis*)、南岭多年卧孔菌(*Perenniporia nanlingensis*)、亚白灰孢多年卧孔菌(*Perenniporia subtephropora*)以及脑形银耳(*Tremella cerebriformis*)。(4)研究区域大型真菌科级区系地理成分可分为世界广布成分(66.67%)、泛热带成分(17.39%)以及北温带成分(15.94%)；属级区系地理成分可分为 7 类，主要以世界广布成分为主(61.71%)，其次为泛热带成分(20.57%)和北温带成分(13.71%)。丰富的物种数据为姑婆山及邻近地区大型真菌物种多样性评估与资源可持续利用提供了基础资料。

关键词：姑婆山及邻近地区，大型真菌，物种多样性，区系特征，应用价值

Species diversity of macrofungi in Gupo Mountain and adjacent areas of Guangxi, China

ZHANG Yancheng[1,2], ZHANG Qiang[1,2], MOU Guangfu[2], LIU Yan[2], ZHAO Bo[1*]
(1. *Department of Pharmacognosy, Pharmacy School, Guilin Medical University*, 541199, Guilin, Guangxi, China; 2. *Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences,* 541006, Guilin Guangxi, China)

Abstract: Gupo Mountain is adjacent to the Nanling Biodiversity Conservation Priority Area of China, which nurtures rich biological resources. To understand the diversity of macrofungal species in this area, a survey and collection of macrofungal resources in Guangxi Gupo Mountain Provincial Nature Reserve (abbreviate as Gupo Mountain) and adjacent areas was conducted by

---

基金项目：国家自然科学基金项目(41661012)；广西自然科学基金项目(2021JJA130119)；广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(2020ky12031)[Supported by National Natural Science Foundation of China(41661012); Natural Science Foundation of Guangxi(2021JJA130119); The project of improving the basic research ability of young teachers in Guangxi universities(2020ky12031)]。
第一作者：张艳成(1997-)，在读硕士，研究方向为生药学，(E-mail)2029518195@qq.com。
*通信作者：赵博(1981-)，博士，副教授，研究方向为药用植物资源学，(E-mail)122017017@glmc.edu.cn。

random tracking method, and combined morphological and molecular biological methods to identify. The results were as follows: (1) A total of 348 species macrofungal were found in this area, belonging to 175 genera in 69 families in 2 phyla, 6 orders and 17 classes, including 40 species of edible mushrooms, 42 species of medicinal mushrooms and 7 species of toxic mushrooms. (2) The analysis of the species composition of the region shows that the dominant families were nine families, including Agaricaceae, Boletaceae, Entolomataceae and Hymenochaetaceae, etc.; the dominant genera are eleven genera, including *Amanita*, *Crepidotus*, *Crinipellis*, *Entoloma*, etc. (3) There are two endemic genera in China, namely *Fragiliporia* and *Zangia*, and 11 endemic species, namely *Coltricia crassa*, *Coltricia weii*, *Entoloma caespitosum*, *Entoloma praegracile*, *Entoloma subtenuicystidiatum*, *Fomitiporia tenuitubus*, *Fomitiporia torreyae*, *Fragiliporia fragilis*, *Perenniporia nanlingensis*, *Perenniporia subtephropora* and *Tremella cerebriformis*. (4) Analysis of the funga composition of macrofungi in Gupo Mountain and adjacent areas revealed that the composition of families can be divided into cosmopolitan element (66.67%), pantropic element (17.39%) and north temperate element (15.94%); while the genera can be divided into seven elements, among which the cosmopolitan element is the most dominant (61.71%), and pantropic element (20.57%) and north temperate element (13.71%) rank second and thirdly. The rich species data provide basic information for the assessment of macrofungal species diversity and sustainable utilization of resources in Gupo Mountain and adjacent areas.

Key words: Gupo Mountain and adjacent areas, Macrofungi, species diversity, Funga characteristics, value of application

大型真菌是指能产生“肉眼可见、徒手可摘”子实体的真菌(Chang & Miles，1992)，是生物多样性的重要组成部分，在森林生态系统的建立、演替、稳定、物质循环和能量流动中扮演着重要角色(严东辉和姚一建，2003)，同时还具有重要的经济价值(于富强等，2013；Hyde et al.，2019；刘培贵等，2020)。关于大型真菌多样性的调查和研究，逐渐受到重视，国家生态环境部相继发布了“生物多样性观测技术导则—大型真菌”以及“中国生物多样性红色名录—大型真菌卷”(中华人民共和国生态环境部，2014；中华人民共和国生态环境部和中国科学院，2018)。据统计，在 2020 年全球共发表了 4 996 个菌物新名称，其中东亚和东南亚是全球真菌新物种发现最多的地区，中国则是发现新物种最多的国家(王科等，2021)。

广西邻近东南亚地区，生物多样性丰富，大型真菌也不例外。近年来，有关学者对桂西南喀斯特地区的大型真菌多样性进行了调查(吴兴亮等，2009；牟光福，2019)，但尚缺乏桂东地区的调查和研究。姑婆山地处桂东地区，与其相近的南岭地区、罗霄山脉、车八岭保护区和鼎湖山已有大型真菌调查资料(宋斌等，2001；宋斌和邓旺秋，2001；李跃进，2011；邓旺秋等，2020)，但姑婆山的大型真菌多样性如何，又有什么样的特点，目前尚不清楚，需开展相关的调查和研究。

姑婆山地处 111°30′30″—111°37′30″ E，24°34′26″—24°42′05″ N，属亚热带季风气候区，年平均气温 18.2 ℃，年平均降雨量 1 704 mm，相对湿度在 80%以上；海拔梯度较大，最高峰海拔 1 844 m。该区总面积 7 941.1 ha，森林覆盖率高达 99.55%，包含维管植物 189 科 604 属 1 223 种，其中种子植物优势科为兰科(Orchidaceae)、茜草科(Rubiaceae)、蔷薇科(Rosaceae)、山茶科(Theaceae)、壳斗科(Fagaceae)等；优势属为柃属(*Eurya*)、冬青属(*Ilex*)、蓼属(*Persicaria*)、锥属(*Castanopsis*)和榕属(*Ficus*)等(李健玲，2021)。此外，保护区植被原始且类型丰富，主要包括常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、针阔混交林等(李健玲，2021)，加上水热条件优越，为大型真菌提供了良好的自然生长环境。

笔者自 2019 年以来持续对姑婆山及邻近地区(玉石林、隔江山)的大型真菌资源开展调

查采集，利用形态学和分子生物学相结合的方法进行分类鉴定，在完成物种多样性编目基础上，从科、属层面分析该区域大型真菌区系的组成和区系成分，并综合文献资料对食用菌、药用菌以及毒菌类群进行归类，为姑婆山及邻近地区大型真菌多样性评估和保护以及资源合理开发利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验材料为姑婆山及邻近地区(玉石林、隔江山)采集的标本，标本保存于广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所植物标本馆(IBK)。

1.2 研究方法

1.2.1 野外调查和标本采集

采用随机踏查法(饶俊和李玉，2012；Li et al.，2018；Prayudi et al.，2019)，于2019—2021年的7、8、9三个月份在姑婆山及邻近地区的玉石林、隔江山进行标本的集中采集，子实体生长较少的其他月份进行补充采集，以达到调查的全面性。

大型真菌采集时，记录子实体的形态、附属结构及其特点、颜色、质地、气味、大小等；以及生长环境、生长基物、生长季节等；并使用数码相机从多角度对子实体进行拍摄。在采集腐生大型真菌时，用枝剪将子实体连同少部分生长基物取下；采集生长于地上的大型真菌时，直接从子实体基部挖取完整子实体并用锡纸进行塑形、包裹，避免标本被压坏；回到室内后，将采集的子实体连同相应的采集标签用报纸包裹，放入烘箱内45~50 ℃烘干，制成干标本，用于后期的显微观察及DNA提取。

1.2.2 大型真菌标本鉴定

采用形态学与分子生物学相结合的方法对大型真菌标本进行鉴定。形态学方法包括宏观形态和显微结构特征观察，其中宏观形态观察包括子实体大小、颜色、菌盖及菌柄表面特征、菌肉颜色变化，菌褶着生方式及颜色、菌环位置及形态等特征；显微结构观察包括孢子大小、形状、颜色、纹饰、显色反应(如用Melzer试剂测试拟糊精质反应或淀粉质反应、棉蓝试剂测试嗜蓝反应)、和囊状体有无及形状、菌髓类型等特征(袁明生和孙佩琼，2013；李玉等，2015；郭林等，2019；庄文颖等，2020)。

部分疑难类群需结合分子生物学方法进行辅助鉴定(Schoch et al.，2012)。总DNA的提取方法采用试剂盒法(康维试剂盒，CW0531M-200 perps，江苏)，选择ITS-4/ITS-5引物进行扩增，反应程序为94 ℃预变性3~4 min；94 ℃变性1 min、53 ℃退火40 s、72 ℃延伸1 min，进行35个循环；72 ℃最终延伸10 min，保存于4 ℃。PCR产物委托生工生物工程股份有限公司(上海)进行测序，在GenBank数据库中进行Blast比对，最后结合比对结果及形态特征，进行种类鉴定。物种的学名采用真菌物种数据库Index fungorum (http://www.indexfungorum.org/)收录的最新名称。

1.2.3 区系成分与优势科属的确定

参考真菌区系划分有关文献以及第10版Dictionary of the Fungi提供的分布信息，确定相关分类单元的区系地理成分(Kirk et al.，2008；周丽伟和戴玉成，2013；张明旭等，2019；杨滢等，2022)。将科内包含10种及以上的科定为优势科，将属内含5种及以上的属定为优势属(图力古尔和李玉，2000)，并根据文献资料对食用菌、药用菌和毒菌进行划分(戴玉成和杨祝良，2008；戴玉成等，2010；图力古尔等，2014；李玉和包海鹰，2019)。

1.2.4 区系相似性系数与R/T值的计算

利用相似性计算公式(王荷生，1992)：$S=2a/(b+c)\times100\%$，对姑婆山与其他相近地区进行属的相似性比较，式中S代表相似性系数，a为对比两地的共有属数，b、c为对比两地各

有属数，均不包括世界广布属，两地共有属数越多，其相似性越大，关系越亲近，否则反之。

采用热带性属(R)与温带性属(T)的比值即 R/T 的值来反映姑婆山及其他相近地区的区系性质。其中，R/T 值大于 1.3，区系组成表现为明显的热带性；R/T 值小于 0.8 区系组成表现为较强的温带性；R/T 值介于 0.8 与 1.3 之间，区系组成表现为热带成分与温带成分相交汇(赵万义，2017)。

2 结果与分析

2.1 大型真菌的种类组成

经对所采集的标本进行鉴定和统计，姑婆山及邻近地区共计 348 种大型真菌（姑婆山 309 种，玉石林 21 种，隔江山 18 种），隶属于 2 门 6 纲 17 目 69 科 175 属。其中，子囊菌门 29 种(隶属于 3 纲 5 目 12 科 17 属)，担子菌门 319 种(隶属于 3 纲 12 目 57 科 158 属)。对姑婆山保护区大型真菌每个科的属、种数量统计表明：科内仅含 1 个属的有 36 科，占总科数的 52.17%；含 2~5 个属的有 27 科，占总科数 39.13%；含 6~9 个属的有 4 科，占总科数 5.80%；含 10 个属及以上的有 2 科，占总科数 2.90%。科内仅含 1 个种的有 24 科，占总科数的 34.78%；含 2~4 个种的有 27 科，占总科数的 39.13%；含 5~9 个种的有 9 科，占总科数的 13.04%；含 10 个种及以上的有 9 科，占总科数的 13.04%(详见表 1)。

此外，该区还拥有 11 种中国特有种，分别为近薄囊粉褶蕈(*Entoloma subtenuicystidiatum*)、丛生粉褶蕈(*Entoloma caespitosum*)、极细粉褶蕈(*Entoloma praegracile*)、脆孔菌(*Fragiliporia fragilis*)、魏氏集毛菌(*Coltricia weii*)、厚集毛菌(*Coltricia crassa*)、薄管层卧孔菌(*Fomitiporia tenuitubus*)、香榧嗜蓝孢孔菌(*Fomitiporia torreyae*)、南岭多年卧孔菌(*Perenniporia nanlingensis*)、亚白灰孢多年卧孔菌(*Perenniporia subtephropora*)以及脑形银耳(*Tremella cerebriformis*)(中华人民共和国生态环境部和中国科学院，2018)，部分物种见图版 1。

表 1 姑婆山及邻近地区大型真菌科、属、种数量统计

Table1 Number of families, genera and species of macrofungi in Gupo Mountain and adjacent areas

科名 Family name	属数 No. of genera	种数 No. of species	科名 Family name	属数 No. of genera	种数 No. of species
绿杯盘菌科 Chlorociboriaceae	1	1	裂褶菌科 Schizophyllaceae	1	1
柔膜菌科 Helotiaceae	1	1	球盖菇科 Strophariaceae	2	2
粒毛盘菌科 Lachnaceae	1	1	口蘑科 Tricholomataceae	2	3
锤舌菌科 Leotiaceae	1	1	木耳科 Auriculariaceae	1	4
地舌菌科 Geoglossaceae	1	1	牛肝菌科 Boletaceae	13	20
马鞍菌科 Helvellaceae	1	1	丽口包科 Calostomataceae	1	1
火丝菌科 Pyronemataceae	3	3	硬皮马勃科 Sclerodermataceae	1	3
丛耳菌科 Wynneaceae	1	1	乳牛肝菌科 Suillaceae	1	1
虫草菌科 Cordycipitaceae	1	2	齿菌科 Hydnaceae	5	8
肉座菌科 Hypocreaceae	1	2	地星科 Geastraceae	1	2
线虫草科 Ophiocordycipitaceae	2	7	鬼笔科 Phallaceae	3	3
炭角菌科 Xylariaceae	3	8	锈革菌科 Hymenochaetaceae	7	14
蘑菇科 Agaricaceae	6	11	藓菇科 Rickenellaceae	1	1
鹅膏科 Amanitaceae	1	7	裂孔菌科 Schizoporaceae	1	1

粪锈伞科 Bolbitiaceae	1	1
珊瑚菌科 Clavariaceae	2	2
丝膜菌科 Cortinariaceae	1	1
靴耳科 Crepidotaceae	2	7
Chromocyphellaceae	1	1
耳壳菌科 Dacryobolaceae	1	1
粉褶蕈科 Entolomataceae	3	30
脆孔菌科 Fragiliporiaceae	1	1
树花孔菌科 Grifolaceae	1	1
轴腹菌科 Hydnangiaceae	1	3
蜡伞科 Hygrophoraceae	1	7
层腹菌科 Hymenogastraceae	5	8
丝盖伞科 Inocybaceae	1	2
离褶伞科 Lyophyllaceae	2	2
小皮伞科 Marasmiaceae	4	17
小菇科 Mycenaceae	6	13
类脐菇科 Omphalotaceae	6	19
隔孢伏革菌科 Peniophoraceae	1	1
膨瑚菌科 Physalacriaceae	3	5
侧耳科 Pleurotaceae	3	4
光柄菇科 Pluteaceae	2	3
小脆柄菇科 Psathyrellaceae	3	4
钉菇科 Gomphaceae	3	3
下皮黑孔菌科 Cerrenaceae	1	1
拟层孔菌科 Fomitopsidaceae	2	3
灵芝科 Ganodermaceae	1	1
蜡孢菌科 Incrustoporiaceae	2	3
耙齿菌科 Irpicaceae	2	2
皱孔菌科 Meruliaceae	1	2
亚灰树花菌科 Meripilaceae	1	3
原毛平革菌科 Phanerochaetaceae	4	4
柄杯菌科 Podoscyphaceae	2	2
多孔菌科 Polyporaceae	19	33
耳匙菌科 Auriscalpiaceae	1	1
猴头菌科 Hericiaceae	2	2
红菇科 Russulaceae	2	18
韧革菌科 Stereaceae	3	5
坂氏齿菌科 Bankeraceae	1	1
革菌科 Thelephoraceae	1	1
银耳科 Tremellaceae	1	3
花耳科 Dacrymycetaceae	3	4
科级分类地位未定类群 Incertae sedis	8	12
总计 Total：69	175	348



A. 丛生粉褶蕈；**B**. 极细粉褶蕈；**C**. 近薄囊粉褶蕈；**D**. 脆孔菌；**E**. 厚集毛孔菌；**F**. 魏氏集毛孔菌；**G**. 薄管层卧孔菌；**H**. 香榧嗜蓝孢孔菌。比例尺：**A**、**B**、**C**、**F**=1 cm；**D**、**E**、**G**、**H**=2 cm。

A. *Entoloma caespitosum*; **B**. *Entoloma praegracile*; **C**. *Entoloma subtenuicystidiatum*; **D**. *Fragiliporia fragilis*; **E**. *Coltricia crassa*; **F**. *Coltricia weii*; **G**. *Fomitiporia tenuitubus*; **H**. *Fomitiporia torreyae*. Scale bars: **A**、**B**、**C**、**F**=1 cm; **D**、**E**、**G**、**H**=2 cm.

图版 1 本研究发现的部分中国特有种

Plate 1 Some species endemic to China found in this study

2.2 大型真菌优势科、属

2.2.1 优势科

姑婆山及邻近地区大型真菌优势科(≥10 种)共有 9 科(见表 2)，包含 66 属 175 种，占该区域总科数的 13.04%。其中，种类最多的为多孔菌科(Polyporaceae)，共包含 19 属 33 种，占总种数的 9.48%，第二大科为粉褶蕈科(Entolomataceae)，共包含 3 属 30 种，占总种数的 8.62%，第三大科为牛肝菌科(Boletaceae)，共包含 13 属 20 种，占总种数的 5.75%。

表 2 姑婆山及邻近地区大型真菌优势科(≥10 种)

Table 2 Dominant family of macrofungi in Gupo Mountain and adjacent areas（≥10 species）

科名 Family name	属数 No. of genera	种数 No. of species	占总物种数比例 Percentage of total number of species (%)
多孔菌科 Polyporaceae	19	33	9.48
粉褶蕈科 Entolomataceae	3	30	8.62
牛肝菌科 Boletaceae	13	20	5.75
类脐菇科 Omphalotaceae	6	19	5.46
红菇科 Russulaceae	2	18	5.17
小皮伞科 Marasmiaceae	4	17	4.89
锈革菌科 Hymenochaetaceae	7	14	4.02
小菇科 Mycenaceae	6	13	3.74
蘑菇科 Agaricaceae	6	11	3.16

2.2.2 优势属

姑婆山及邻近地区大型真菌优势属(≥5 种)共有 11 属(见表 3)，占总属数的 6.29%。其中，粉褶蕈属(*Entoloma*)包含的种数最多，共计 27 种，占总种数的 7.76%，其次为裸脚伞属(*Gymnopus*)共计 12 种，占总种数的 3.45%；优势属内所含种数小于 10 种的属有 9 个，共计 63 种，占总种数的 18.10%，含有 10 种及 10 种以上的属有 2 个，共计 39 种，占总种数的 11.21%。

表 3 姑婆山及邻近地区大型真菌优势属(≥5 种)

Table3 Dominant genera of macrofungi in Gupo Mountain and adjacent areas（≥5 species）

属 名 Genus name	种 数 No. species	占总物种数比例 Percentage of total number of species (%)	主要营养类型 Main nutritional type
粉褶蕈属 *Entoloma*	27	7.76	共生 Symbiotic
裸脚伞属 *Gymnopus*	12	3.45	腐生 Saprobic
乳菇属 *Lactarius*	9	2.59	共生 Symbiotic
红菇属 *Russula*	9	2.59	共生 Symbiotic
小皮伞属 *Marasmius*	8	2.30	腐生 Saprobic
毛皮伞属 *Crinipellis*	7	2.01	腐生 Saprobic
湿伞属 *Hygrocybe*	7	2.01	共生 Symbiotic
鹅膏属 *Amanita*	7	2.01	共生 Symbiotic
线虫草属 *Ophiocordyceps*	6	1.72	寄生 Parasitic
靴耳属 *Crepidotus*	5	1.44	腐生 Saprobic
灵芝属 *Ganoderma*	5	1.44	腐生 Saprobic

2.3 大型真菌区系成分分析

2.3.1 科的分析

从姑婆山及邻近地区大型真菌科的地理成分上看，北温带成分有马鞍菌科(Helvellaceae)、锤舌菌科(Leotiaceae)、拟层孔菌科(Fomitopsidaceae)、猴头菌科(Hericiaceae)、蜡伞科(Hygrophoraceae)、丝膜菌科(Cortinariaceae)、树花孔菌科(Grifolaceae)、齿菌科(Hydnaceae)、钉菇科(Gomphaceae)、革菌科(Thelephoraceae)以及乳牛肝菌科(Suillaceae)，共计 11 科，占总科数的 15.94%；泛热带成分为丽口包科(Calostomataceae)、粉褶蕈科、小皮伞科(Marasmiaceae)、小菇科(Mycenaceae)、光柄菇科(Pluteaceae)、鬼笔科(Phallaceae)、炭角菌科(Xylariaceae)、柔膜菌科(Helotiaceae)、脆孔菌科(Fragiliporiaceae)、灵芝科(Ganodermaceae)、柄杯菌科(Podoscyphaceae)以及银耳科(Tremellaceae)，共计 12 科，占总科数的 17.39%；其余为广布成分，占总科数的 66.67%，缺少中国特有科的分布。

2.3.2 属的分析

对姑婆山及邻近地区大型真菌的 175 个属进行地理分布分析(Kirk et al.，2008；图力古尔和李玉，2000；周丽伟和戴玉成，2013；杨滢等，2022)，划分为如下几类：

(1) 广布成分(D1)，一般指广泛分布于世界各大洲而没有特殊分布中心的属。该类型有木霉属(*Trichoderma*)、被毛孢属(*Hirsutella*)、盾盘菌属(*Scutellinia*)、轮层炭壳菌属(*Daldinia*)、胶角耳属(*Calocera*)、蘑菇属(*Agaricus*)、秃马勃属(*Calvatia*)、马勃属(*Lycoperdon*)、鹅膏属(*Amanita*)、牛肝菌属(*Boletus*)、绒盖牛肝菌属(*Xerocomus*)、粉末牛肝菌属(*Pulveroboletus*)、松塔牛肝菌(*Strobilomyces*)、拟锁瑚菌(*Clavulinopsis*)、拟层孔菌属(*Fomitopsis*)、松肉菌属(*Laxitextum*)、集毛菌属(*Coltricia*)、褐孔菌属(*Fuscoporia*)、木层孔菌属(*Phellinus*)、锁瑚菌属(*Clavulina*)、蜡蘑属(*Laccaria*)、湿伞属(*Hygrocybe*)、盔孢伞属(*Galerina*)、裸伞属(*Gymnopilus*)、硬孔菌属(*Rigidopsorus*)、栓孔菌属(*Trametes*)、裂褶菌属(*Schizophyllum*)、粉孢牛肝菌属(*Tylopilus*)等，共计 108 属，占总属数的 61.71%。

(2) 泛热带成分(D2)，指分布于东、西两半球热带，或可达亚热带至温带，但分布中心仍在热带的属。该类型有胶陀盘菌属(*Trichaleurina*)、炭角菌属(*Xylaria*)、小蘑菇属(*Micropsalliota*)、粉褶蕈属、假芝属(*Amauroderma*)、灵芝属(*Ganoderma*)、暗金钱菌属(*Phaeocollybia*)、毛筐菌属(*Chaetocalathus*)、老伞属(*Gerronema*)、小皮伞属(*Marasmius*)、柄杯菌属(*Podoscypha*)、胶孔菌属(*Favolaschia*)、竹荪属(*Dictyophora*)、小林块腹菌属(*Kobayasia*)、小奥德蘑属(*Oudemansiella*)、白鬼伞属(*Leucocoprinus*)等，共计 36 属，占总属数的 20.57%。

(3) 北温带成分(D5)，指分布于北半球(欧亚大陆及北美)温带地区，个别可到达南温带，但其分布中心在北温带的属。该类型有地舌菌属(*Geoglossum*)、马鞍菌属(*Helvella*)、杯冠瑚菌属(*Artomyces*)、乳牛肝菌属(*Suillus*)、雅薄伞属(*Delicatula*)、亚齿菌属(*Hydnellum*)、钉菇属(*Gomphus*)、黏滑菇属(*Hebeloma*)、丝盖伞属(*Inocybe*)、小杯伞属(*Clitocybula*)、黏柄小菇属(*Roridomyces*)、干蘑属(*Xerula*)、全缘孔菌属(*Haploporus*)、近地伞属(*Parasola*)等，共计 24 属，占总属数的 13.71%。

(4) 东亚成分，指主要分布于东亚(中国、朝鲜、韩国、日本及俄罗斯远东地区)的属，它们有时常向南延伸至我国南部甚至中南半岛，向西可达印度、尼泊尔乃至巴基斯坦。该类型有小绒盖牛肝菌属(*Parvixerocomus*)，共计 1 属，占总属数的 0.57%。

(5) 东亚—北美洲成分(D7)，间断分布于东亚和北美洲温带及亚热带地区的属。该类型有大金钱菌属(*Megacollybia*)，共计 1 属，占总属数的 0.57%。

(6) 热带亚洲、大洋洲至热带美洲成分，一般是指间断分布于热带亚洲、大洋洲和美洲的属。该类型有二头孢盘菌属(*Dicephalospora*)、罗叶腹菌属(*Rossbeevera*)、厚瓤牛肝菌属(*Hourangia*)，共计 3 属，占总属数的 1.71%。

(7) 中国特有属，为脆孔菌属(*Fragiliporia*)和臧氏牛肝菌属(*Zangia*)，共计 2 属，占总属数的 1.14%。

2.4 调查区域与相近地区区系间的关系

为探究姑婆山大型真菌区系多样性起源与有关地区的区系亲缘关系、区系成分组成特点，分别与相近地区的罗霄山脉(邓旺秋等，2020)、南岭(宋斌等，2001)、车八岭(李跃进，2011)和鼎湖山(宋斌和邓旺秋，2001)的现有资料进行大型真菌区系相似性比较(见表 4)。

通过与其他 4 个相近地区大型真菌区系进行对比，得出姑婆山与罗霄山脉、鼎湖山具有较高的相似性系数，分别为 51.25%和 40.94%，之后为南岭地区，与车八岭的相似性系数最低（26.56%）。综上，反映出姑婆山与车八岭大型真菌亲缘关系较为疏远，而姑婆山与罗霄山脉大型真菌的亲缘关系相对亲近，推测两地在真菌区系起源上有着密不可分的联系。此外，基于这五个地区大型真菌区系中热带成分和温带成分的比值(R/T)，反映出姑婆山与南岭、车八岭以及鼎湖山大型真菌的区系组成上均具有明显的热带性(R/T>1.3)。

表 4 姑婆山与相近地区大型真菌区系比较

Table 4 Comparison of funga between Gupo Mountain and adjacent areas

项目 item	姑婆山 Gupo Mountain	南岭 Nanling	车八岭 Chebaling	罗霄山脉 Luoxiao Mountains	鼎湖山 Dinghu Mountain
与姑婆山共有属数 Genera in common with those in Gupo Mountain	67	22	17	41	26
相似性系数 Similarity coefficient (%)	–	37.61	26.56	51.25	40.94
R/T 值 R/T value	1.39	1.38	1.44	1.27	1.31

2.5 大型经济真菌资源

2.5.1 食用菌

姑婆山及邻近地区可食用的大型真菌共 40 种，占总种数的 11.49%。较为常见的食用菌如毛木耳(*Auricularia cornea*)、皱木耳(*A. delicata*)、细绒盖牛肝菌(*Xerocomus parvulus*)、亚绒盖牛肝菌(*X. subtomentosus*)、灰树花(*Grifola frondosa*)、硫磺菌(*Laetiporus sulphureus*)、小蚁巢伞(*Termitomyces microcarpus*)、栎裸脚伞(*Gymnopus dryophilus*)、香菇(*Lentinula edodes*)、翘鳞韧伞(*Lentinus squarrosulus*)、红汁乳菇(*Lactarius hatsudake*)、黄斑绿菇(*Russula crustosa*)、茶色银耳(*Tremella foliacea*)、银耳(*T. fuciformis*)等(卯晓岚，2000；戴玉成等，2010；李玉等，2015)。

2.5.2 药用菌

姑婆山及邻近地区药用菌共 42 种，占总种数的 12.07%。该保护区常见的药用菌有蝉花(*Cordyceps chanhua*)、下垂线虫草(*Ophiocordyceps nutans*)、尖头线虫草(*O. oxycephala*)、皱血芝(*Sanguinoderma rugosum*)、南方灵芝(*Ganoderma australe*)、紫芝(*G. sinense*)、淡黄木层孔菌(*Phellinus gilvus*)、二年残孔菌(*Abortiporus biennis*)、白耙齿菌(*Irpex lacteus*)、云芝栓孔菌(*Trametes versicolor*)、裂褶菌(*Schizophyllum commune*)等，这些药用菌具有不同的功效(戴玉成和杨祝良，2008；戴玉成等，2013)，如可以消炎、消肿、止血作用的头状秃马勃、网纹马勃、黄硬皮马勃(*Scleroderma flavidum*)、鳞皮扇菇(*Panellus stipticus*)等；具有抑制肿瘤作用的有红缘拟层孔菌(*Fomitopsis pinicola*)、灰树花、环带小薄孔菌(*Antrodiella zonata*)、漏斗多孔菌(*Polyporus arcularius*)、血红密孔菌(*P.sanguineus*)、冷杉附毛孔菌(*Trichaptum abietinum*)、毛栓孔菌(*Trametes hirsuta*)；黑柄炭角菌(*Xylaria nigripes*)可除湿、镇惊、止心悸、催乳、安眠；硫磺菌可治疗气血不足，增进健康；桦褶孔菌(*Lenzites betulinus*)可散寒、舒筋，黄裙竹荪(*Dictyophora multicolor*)可增强免疫力、抑菌、抗衰老以及能够散毒、生肌的红鬼

笔(*Phallus rubicundus*)等。

一些大型真菌还具有药食两用的特性，在该区域共发现 13 种。常见的有毛木耳、皱木耳、硫磺菌、灰树花、杯伞状大金钱菌(*Megacollybia clitocyboidea*)、裂褶菌、银耳、紫芝等。

2.5.3 毒菌

姑婆山及邻近地区毒菌共 7 种，分别为假褐云斑鹅膏(*Amanita pseudoporphyria*)、土红鹅膏(*Amanita rufoferruginea*)、残托斑鹅膏(*Amanita sychnopyramis*)、粪生斑褶菇(*Panaeolus fimicola*)、鳞皮扇菇(*Panellus stipticus*)、黄白粘盖牛肝菌(*Suillus placidus*)以及亚黑红菇(*Russula subnigricans*)，占总种数的 2.01%。该保护区的毒菌中毒类型主要为胃肠炎型、神经精神型、肝脏损害型以及溶血型(卯晓岚，2006；图力古尔等，2014)，如鳞皮扇菇、土红鹅膏、黄白粘盖牛肝菌的中毒类型属于胃肠炎型，中毒症状主要为急性恶心呕吐、腹泻、腹痛，或伴有头昏、头痛、全身无力，重者偶有吐血、脱水、休克等；粪生斑褶菇的中毒类型属于神经精神型，中毒症状为神经兴奋、神经抑制或精神错乱以及出现幻觉等；假褐云斑鹅膏的中毒类型包括胃肠炎型、神经精神型、肝脏损害型，对人体损伤大，重者易死亡；亚黑红菇的毒性极强，中毒类型包括胃肠炎型、神经精神型、肝脏损害型以及溶血型，是目前该保护区中毒性最强的一种菌，极易致人死亡；此外，还有能够杀死昆虫的毒菌如土红鹅膏、残托斑鹅膏。

3 讨论与结论

该研究通过野外实地考察，对姑婆山及邻近地区(玉石林、隔江山)的大型真菌资源有了初步的认识，共发现野生大型真菌 348 种，隶属于 2 门 6 纲 17 目 69 科 175 属。其中，鹅膏属、乳菇属、红菇属的物种较为丰富，这些属大部分物种与松科(Pinaceae)、壳斗科等植物存在共生关系，这与姑婆山具有丰富的雪松(*Cedrus deodara*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、黄山松(*Pinus taiwanensis*)、厚皮锥(*Castanopsis chunii*)、罗浮锥(*Castanopsis fabri*)、甜槠(*Castanopsis eyrei*)、栲(*Castanopsis fargesii*)等共生树种相对应(李健玲，2021)。采集过程中发现，森林郁闭度高、植被类型丰富、腐殖质层厚、水湿条件较好、受人为干扰少的地区，其物种分布较多；反之，大型真菌种类随之减少，反映出植被类型、森林覆盖度、水湿条件和人为干扰是影响大型真菌分布的重要因素，这与张明旭等(2019)、王雪珊等(2020)的观点一致。

通过姑婆山及邻近地区(玉石林、隔江山)大型真菌属的热带成分与温带成分的比值(R/T 值)，反映出该区大型真菌区系为热带性质特点；从区系起源关系分析，姑婆山与罗霄山脉最为接近，这是因为罗霄山脉与姑婆山地区均属亚热带季风气候区，气候条件相近，在我国植被区划分上也属于相同的亚热带常绿阔叶林带，植被类型相似，并且姑婆山属萌渚岭支脉，是由马鞍山、天堂顶(海拔 1 844 m)、姑婆山(海拔 1 730 m)等主峰连成的山脉主体，整体海拔较高，与罗霄山脉地势类似，两地亲缘关系相对较近(赵万义，2017；李健玲，2021)；姑婆山与车八岭的相似性最低，是因为广东濒临南海，车八岭易受到来自海洋湿润气团的影响，且车八岭和姑婆山之间有南岭阻隔，使得两地的降水、温度等存在一定差别，加上车八岭地区属于中低山地，最高峰仅 1 256 m，整体海拔远低于姑婆山，并在地理位置上更靠南，造成两地的植被类型、大型真菌种类及分布有所差异，相似性系数偏低(李跃进，2011；李健玲，2021)。另外，由于各地区区系调查的广度和深度不同，不同地区间报道的科、属和种的数量差距较大，且当前部分大型真菌分布情况尚不清楚，一些物种的区系划分可能不够准确也会影响到地区间的相似性系数，但随着相关研究的不断深入，大型真菌的区系研究将会得到不断的深化与修正。

大型真菌中许多类群具有重要的经济价值，经调查发现该区经济菌的种类颇为丰富，其中食用菌有 40 种，药用菌有 42 种，毒菌有 7 种。目前，灰树花、硫磺菌、紫芝、银耳、香菇等食用菌均可进行人工驯化栽培，通过对性状优良的品种进行选育，获得高质量菌种，以

满足生产需要，有利于地方经济的发展。但在该区发现的食用菌中绝大多数仍未实现人工驯化，这可能与一些类群为外生菌根真菌，它们的生长发育离不开与之共生的植物，人工驯化难度大，如红菇科、牛肝菌科等，还有一些可食用但子实体较小的类群，其开发利用价值较低等因素有关；药用真菌的医疗价值和保健作用，已引起世界各国的广泛关注，从药用真菌中开发的云芝肝泰颗粒剂、猪苓注射剂、竹红菌软膏等多种产品均有上市，供应医疗市场。此外，我国应加强药用真菌中多糖、生物碱、维生素、有机酸等化合物的提取、分离、药理等研究，发现新的具有药理作用的天然产物，扩大药源，提高药物质量和疗效；毒菌就像一把双刃剑，误食会对人体造成极大的损害，但若运用得当它们便能造福人类：一些毒菌毒素已被应用于医药、生物等领域，如奥来丝膜菌(*Cortinarius orellanus*)中的奥来毒素对治疗肾癌具有潜在价值（Buvall et al.，2017）；α-鹅膏毒肽能特异性抑制 RNA 聚合酶 Ⅱ 的活性，被用于 RNA 聚合酶 Ⅱ 的结构与功能研究（Bushnell et al.，2002；Kaplan et al.，2008）；荧光素标记的二羟鬼笔毒肽也被广泛应用于细胞形态、细胞骨架的结构与功能等研究领域（Wang et al.，2014）。

通过 2019 年以来持续对姑婆山及邻近地区开展大型真菌调查，获取了丰富的标本、照片、分布信息、DNA 材料等一手资料。从调查结果来看，该区域大型真菌资源十分丰富。然而，由于调查时间仍然过于短暂，一些区域因路况、自然环境等因素目前难以涉足，且大型真菌子实体的产生具有一定的季节性及有些菌类有自溶的特性，故当前的调查结果远不能揭示保护区大型真菌的本底情况。建议在保护区设立一些永久性样线、样地继续开展调查、监测，联合科研院所建立菌物标本库、条码数据库、种质库，开发利用高价值菌物，统筹协调自然保护，促进区域经济社会和谐发展。

致谢：广西贺州市姑婆山自治区级自然保护区管理局对野外调查工作给予了大力支持，谨致谢意。

参考文献

BAU T, BAO HY, LI Y, 2014. A revised checklist of poisonous mushrooms in China[J]. Mycosystema, 33(3): 517-548. [图力古尔，包海鹰，李玉，2014. 中国毒蘑菇名录[J]. 菌物学报，33(3)：517–548.]

BAU T, LI Y, 2000. Study on fungal flora diversity in Daqinggou nature reserve[J]. Biodivers Sci, 8(1): 73–80. [图力古尔，李玉，2000. 大青沟自然保护区大型真菌区系多样性的研究[J]. 生物多样性，8(1)：73-80.]

BAU T, 2010. Review on the biodiversity of macrofungi and their conservations in China[J]. Ludong Univ J (Nat Sci Ed), 26(4): 353–360. [图力古尔，2010. 我国蕈菌生物多样性及保育研究进展[J]. 鲁东大学学报（自然科学版），26(4)：353-360.]

BUSHNELL DA, CRAMER P, KORNBERG RD., 2002. Structural basis of transcription: α-Amanitin–RNA polymerase II cocrystal at 2.8 Å resolution[J]. Proc Nat Acad Sci, 99(3): 1218-1222.

BUVALL L, HEDMAN H, KHRAMOVA A, et al., 2017. Orellanine specifically targets renal clear cell carcinoma[J]. Oncotarget, 8(53): 91085-91098.

CHANG ST, MILES PG, 1992. Mushrooms biology a new discipline[J]. Mycologist, 6(2): 64–65.

DAI YC, BAU T, CUI BK, et al., 2013. Illustrations of medicinalfungi in China [M]. Harbin: Northeast Forestry University Press: 1-653. [戴玉成，图力古尔，崔宝凯，等，2013. 中国药用真菌图志[M]. 哈尔滨：东北林业大学出版社：1-653.]

DAI YC, YANG ZL, 2008. A revised checklist of medicinal fungi in China[J]. Mycosystema,

27(6): 801-824. [戴玉成，杨祝良，2008. 中国药用真菌名录及部分名称的修订[J]. 菌物学报，27(6)：801-824.]
DAI YC, ZHOU LW, YANG ZL, et al., 2010. A revised checklist of edible fungi in China[J]. Mycosystema, 29(1): 1-21. [戴玉成，周丽伟，杨祝良，等，2010. 中国食用菌名录[J]. 菌物学报，29(1)：1-21.]
DENG WQ, LI TH, SONG ZP, et al., 2020. Floristic analysis and resource evaluation of macrofungi in the Luoxiao mountains, China[J]. Biodivers Sci, 28(7): 896-904. [邓旺秋，李泰辉，宋宗平，等，2020. 罗霄山脉大型真菌区系分析与资源评价[J]. 生物多样性，28(7)：896-904.]
GUO L, HUANG G, ZHU YF, 2019. Flora Fungorum Sinicorum: (Vol. 59) [M]. Beijing: Science Press: 1-62. [郭林，黄谷，朱一凡，2019. 中国真菌志：（第 59 卷）[M]. 北京：科学出版社：1-62.]
HYDE KD, XU J, RAPIOR S, et al., 2019. The amazing potential of fungi: 50 ways we can exploit fungi industrially[J]. Fungal Divers., 9(7): 1-136.
KAPLAN CD, LARSSON KM, KORNBERG RD, 2008. The RNA polymerase II trigger loop functions in substrate selection and is directly targeted by α-amanitin[J]. Mol Cell, 30(5): 547-556.
KIRK P, CANNON P, MINTER D, et al., 2008. Dictionary of the fungi: (10th ed.)[M]. Wallingford: Cab International: 1-782.
LI HL, OSTERMANN A, KARUNARATHNA SC, et al., 2018. The importance of plot size and the number of sampling seasons on capturing macrofungal species richness[J]. Fungal Biol, 122(7): 692-700.
LI JL, 2021. Flora analysis of vascular plants in Guposhan Nature Reserve, Guangxi, China[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology: 1-40. [李健玲，2021. 广西姑婆山自然保护区维管植物区系研究[D]. 长沙：中南林业科技大学：1-40.]
LIU PG, WANG XH, CHEN J, et al., 2020. Higher fungi and humans[J]. SCI, 72(2): 43-46. [刘培贵，王向华，陈娟，等，2020. 高等大型真菌与人类[J]. 科学，72(2)：43-46.]
LI Y, BAO HY, 2019. Mycomedicines in China[M]. Zhengzhou: Central Plain Farmers Press: 1-684. [李玉，包海鹰，2019. 中国菌物药[M]. 郑州：中原农民出版社：1-684.]
LI Y, LI TH, YANG ZL, et al., 2015. Resources of macrofungi in China[M]. Zhengzhou: Central Plain Farmers Press: 1-1346. [李玉，李泰辉，杨祝良，等，2015. 中国大型菌物资源图鉴[M]. 郑州：中原农民出版社：1-1346.]
LI YJ, 2011. Studies on the biodiversity of macrofungi in Chebaling national nature reserve [D]. Jilin: Jilin Agricultural University: 1-77. [李跃进，2011. 车八岭国家级自然保护区大型真菌多样性研究[D]. 吉林：吉林农业大学：1-77.]
MAO XL, 2000. Chinese macrofungi[M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press: 1-719. [卯晓岚，2000. 中国大型真菌[M]. 郑州：河南科学技术出版社：1-719.]
MAO XL, 2006. Poisonous mushrooms and their toxins in China[J]. Mycosystema, 25(3): 345-363. [卯晓岚，2006. 中国毒菌物种多样性及其毒素[J]. 菌物学报，25(3)：345-363.]
Ministry of ecology and environment of the People's Republic of China, Chinese academy of sciences, 2018. Redlist of China's biodiversity—macrofungi[R]. Beijing: Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China and Chinese Academy of Sciences: 1-466. [中华人民共和国生态环境部和中国科学院，2018. 中国生物多样性红色名录—大型真菌卷[R]. 北京：中华人民共和国生态环境部联合中国科学院：1-466.]
Ministry of ecology and environment of the People's Republic of China, 2014. Technical guidelines for biodiversity monitoring—macrofungi[R]. Beijing: China Environmental Press: 1-12. [中华人民共和国生态环境部，2014. 生物多样性观测技术导则—大型真菌[R]. 北京：中国

环境科学出版社：1-12.]
MOU GF, 2019. The investigation and assessment of macro-fungi resource in Nong-gang national nature reserve, Guangxi, China[D]. Nanning: Guangxi University: 1-140. [牟光福，2019. 广西弄岗国家级自然保护区大型真菌资源调查与评价[D]. 南宁：广西大学：1-140.]
PRAYUDI DP, KURNIAWATI J, MUTIARANI YP, et al., 2019. Considering sampling methods for macrofungi exploration in Turgo tropical forest fcosystem[J]. J Trop Biodivers Biotechnol, 4(1): 1-10.
RAO J, LI Y, 2012. Field investigation method of macrofungi[J]. Bull Biol, 47(5): 2-6. [饶俊，李玉，2012. 大型真菌的野外调查方法[J]. 生物学通报，47(5)：2-6.]
SCHOCH CL., SEIFERT KA., HUHNDORF S, et al., 2012. Nuclear ribosomal internal transcribed spacer (ITS) region as a universal DNA barcode marker for Fungi[J]. Pnas, 109(16): 6241-6246.
SONG B, DENG WQ, 2001. Preliminary analysis of macrofungal flora of Dinghushan biosphere reserve in China[J]. Guizhou Sci, 19(3): 43-49. [宋斌，邓旺秋，2001. 广东鼎湖山自然保护区大型真菌区系初析[J]. 贵州科学，19(3)：43-49.]
SONG B, LI TH, ZHANG WM, et al., 2001. Primary analysis of macrofungal flora of Nanling biosphere reserve in China[J]. Ecol Sci, 20(4): 37-41.[宋斌，李泰辉，章卫民，等，2001. 广东南岭大型真菌区系地理成分特征初步分析[J]. 生态科学，20(4)：37-41.]
WANG HS, 1992. Floral geography[M]. Beijing: Science Press: 1-180. [王荷生，1992. 植物区系地理[M]. 北京：科学出版社：1-180.]
WANG J, FAN. TJ, YANG XX, et al., 2014. Transforming growth factor-β2 induces morphological alteration of human corneal endothelial cells in vitro[J]. Int J Ophthalmol, 7(5): 759-763.
WANG K, CAI L, YAO YJ, 2021. Overview of nomenclature novelties of fungi in the world and China (2020)[J]. Biodivers Sci, 29(8): 1064-1072. [王科，蔡磊，姚一建，2021. 世界及中国菌物新命名发表概况（2020 年）[J]. 生物多样性，29(8)：1064-1072.]
WANG XS, BAU T, BAO JS, et al., 2020. Macrofungal diversity in Hanwula national nature reserve, Inner Mongolia[J]. Mycosystema, 39(4): 695-706. [王雪珊，图力古尔，宝金山，等，2020. 内蒙古罕山国家级自然保护区大型真菌多样性[J]. 菌物学报，39(4)：695-706.]
WU XL, SONG B, LI TH, et al., 2009. The macrofungi from Guangxi, China[J]. Guizhou Sci, 27(4): 1-25. [吴兴亮，宋斌，李泰辉，等，2009. 中国广西大型真菌研究[J]. 贵州科学，27(4)：1-25.]
YAN DH, YAO YJ, 2003. Recent advance of research on fungi in forest ecosystem [J]. Chinese J Plant Ecol, 27(2): 143-150. [严东辉，姚一建，2003. 菌物在森林生态系统中的功能和作用研究进展[J]. 植物生态学报，27(2)：143-150.]
YANG Y, ZHAO L, CHEN YL, et al., 2022. Diversity and flora of macrofungi in the fuheyuan nature reserve in Jiangxi province[J]. J Northwest For Univ, 37(2): 164-169. [杨滢，赵兰，陈言柳，等，2022. 江西抚河源自然保护区大型真菌多样性与区系特征[J]. 西北林学院学报，37(2)：164-169.]
YUAN MS, SUN PQ, 2013. Color atlas of large fungus in China[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press: 1-515. [袁明生，孙佩琼，2013. 中国大型真菌彩色图谱[M]. 成都：四川科学技术出版社：1-515.]
YU FQ, LIU PG, 2013. Wild edible and medicinal mushrooms in puer of Yunnan and their sustainable utilization[J]. J Fungal Res, 11(1): 14-23. [于富强，刘培贵，2013. 云南普洱地区野生食药用菌及其持续利用[J]. 菌物研究，11(1)：14-23.]

ZHANG MX, WANG ZB, ZHANG X, et al., 2013. Macrofungi resources and ecological distribution in Baishuijiang national nature reserve in Gansu province[J]. J Arid Land Resour Environ, 33(7): 152-156. [张明旭，汪之波，张玺，等，2019. 白水江国家级自然保护区大型真菌多样性与区系特征[J]. 干旱区资源与环境，33(7)：152-156.]

ZHAO WY, 2017. The floristic phytogeography of spermatophyte flora in Luoxiao range[D]. Guangzhou: Sun yat-sen university: 1-186. [赵万义，2017. 罗霄山脉种子植物区系地理学研究[D]. 广州：中山大学：1-186.]

ZHOU LW, DAI YC, 2013. Chinese polypore diversities: species, mycota and ecological functions[J]. Biodivers Sci, 21(4): 499-506. [周丽伟，戴玉成，2013. 中国多孔菌多样性初探：物种、区系和生态功能[J]. 生物多样性，21(4)：499-506.]

ZHUANG WY, ZENG SQ, ZHU ZX, et al., Flora fungorum sinicorum: (Vol. 60)[M]. Beijing: Science Press: 1-199. [庄文颖，曾昭清，朱兆香，等，2020. 中国真菌志：（第 60 卷）[M]. 北京：科学出版社：1-199.]